

葡萄酒储藏室恒温恒湿空调机组运行特性研究

Experimental study on operation characteristics of constant temperature and humidity air conditioning unit used in wine storage room

王少卿¹ 徐 静² 李 冬³ 胡海洋⁴ 陆 怡⁵

WANG Shao-qing¹ XU Jing² LI Dong³ HU Hai-yang⁴ LU Yi⁵

(上海理工大学, 上海 200093)

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

摘要:葡萄酒储藏工艺是由其酿造方法决定的,其中温度和湿度是酒储藏极其重要的参数,恒定的温湿度环境是储藏出高品质酒的必要条件。文章基于带冷凝热回收的直流变频恒温恒湿机组,提出 PID 串级控制的热湿分控方法,通过试验研究该机组的运行特性,结果显示该方法能够实现对环境温湿度的精确控制(温度 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\pm 3\%$),可满足小型葡萄酒储藏室的环境要求。

关键词:葡萄酒;储藏;恒温恒湿空调机组;串级控制;热湿分控

Abstract: Wine storage process is determined by the brewing method, where the temperature and humidity are the extremely important parameters, and the constant temperature and humidity environment is a necessary condition for the storage of high-quality wine. This paper put forward a PID cascade control method with the temperature and humidity controlled separately based on DC-inverter constant temperature and humidity air conditioning unit with condensing heat recovery, and study experimentally the operation characteristics of the air conditioning unit, the experimental results show that this method can achieve precise control of temperature and humidity (temperature control precision is $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, relative humidity control accuracy is $\pm 3\%$), witch to meet the environmental requirements of small wine storage room.

Keywords: wine; storage; constant temperature and humidity conditioner unit; cascade control; temperature and humidity separate control

葡萄酒储藏工艺是由其酿造方法决定的,葡萄酒的生命周期对葡萄酒的成熟、风格、品质都有极大影响。储藏葡萄酒的环境温度既不能太低,也不能太高,且环境温度变化不宜太剧烈。有研究^[1]表明,如果以葡萄酒储藏的通用标准

12 $^{\circ}\text{C}$ 作为基准,若温度上升到 17 $^{\circ}\text{C}$,酒的成熟速度是原来的 1.2~1.5 倍;若温度增加到 23 $^{\circ}\text{C}$,成熟速度将变成原来的 2~8 倍。通常存酒温度为 5~20 $^{\circ}\text{C}$ (10~14 $^{\circ}\text{C}$ 最为理想),且全年的温度差不宜超过 5 $^{\circ}\text{C}$ 。葡萄酒储藏对湿度也有比较严格的要求(不能超过 80%),一般以 60%~70%为宜。湿度太高易使酒瓶软木塞和标签霉变、腐烂,导致漏酒;湿度太低会使软木塞干化收缩,导致酒挥发或进空气氧化。此外,光线、空气也会对葡萄酒的储藏产生不同程度的影响^[2-3]。

对于小型葡萄酒储藏室而言,采用恒温恒湿空调机控制环境温湿度成为首选。普通恒温恒湿空调机组采用常规配置和控制手段,如普通涡旋式压缩机、电极加湿器、有级电加热控制等,温湿度的控制精度不高,甚至在运行过程中出现因为负荷变化产生较大的跳变等问题^[4];若采用普通涡旋压缩机制冷,可控硅 PID 调节加热量,也可达到对温湿度的精确控制,但可控硅价格昂贵,且无法解决冷热量抵消和能源浪费的不足,其推广应用受到限制^[5]。本研究根据葡萄酒储藏环境的特点,对机组进行优化,采用直流变频压缩机和再热冷凝器,以提高机组的配置;使用单片机和传感器相结合的技术,以及 PID 串级控制的热湿分控方法,并且通过试验研究空调机组的运行特性及控制效果。

1 恒温恒湿空调机组原理

1.1 工作原理

本恒温恒湿空调机采用直流变频技术,结合电子膨胀阀技术和冷凝热回收技术对空气进行热湿处理,其系统原理见图 1。

该恒温恒湿机组主要部件包括直流变频压缩机、电子膨胀阀、风冷冷凝器、再热冷凝器、蒸发器、加湿器等,其特点是使用再热冷凝器替代传统电加热,实现了冷凝热的回收^[6]。其中直流变频压缩机可调节频率范围为 20~90 Hz;主电子膨胀阀调节过热度,副电子膨胀阀调节再热量,加湿器辅助

作者简介:王少卿(1990—),男,上海理工大学在读硕士研究生。

E-mail: shaoqing_wang@126.com

收稿日期:2015-12-17

调节其送风湿度。机组工作过程为直流变频调节压缩机的频率改变管路制冷剂的循环流量,控制制冷量,对空气进行温湿度调节;处理过程需要再热时,通过改变副电子膨胀阀的开度调节通过再热冷凝器的制冷剂的流量,控制再热量,

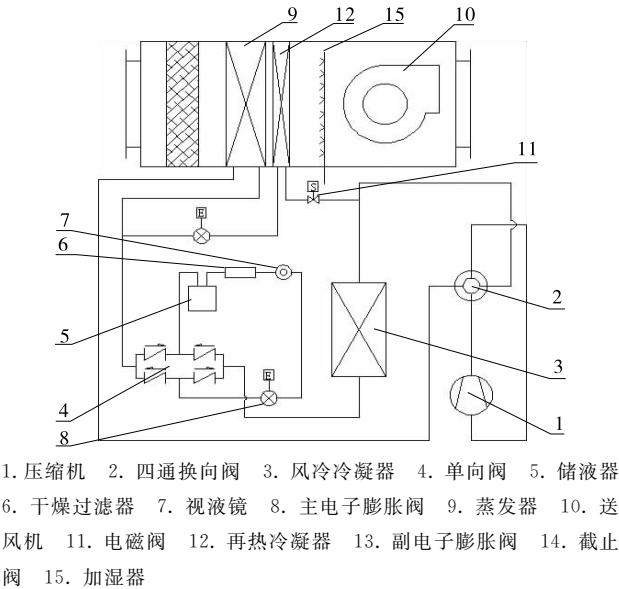


图 1 系统原理图
Figure 1 System schematic diagram

对空气进行再加热处理;需要加湿时,开启加湿器对空气进行加湿处理。

1.2 控制系统原理

恒温恒湿机组控制系统采用 PID 串级控制的热湿分控方法,将温度和湿度独立控制。PID 串级控制系统的最大特点是有主控制回路和副控制回路之分,主控制回路采样周期大于副控制回路采样周期,可使副控制对象响应速度快于主控制对象的^[7]。

控制系统原理框图见图 2。其中,葡萄酒储藏室湿度与设定值的偏差作为主 PID 控制器的输入,主控制器的输出作为副调节器的设定值,此设定值与送风湿度的差值作为副 PID 控制器的输入,调节压缩机的频率满足其湿度要求,此外加湿器提供辅助湿度调节;葡萄酒储藏室温度与设定值的偏差作为主 PID 控制器的输入,主控制器的输出作为副调节器的设定值,此设定值与机组送风湿度的差值作为副 PID 控制器的输入,进而通过调节副电子膨胀阀的开度调节送风温度;过热度设定值与过热度值实测值的偏差作为主电子膨胀阀的输入,主控制器的输出作为副调节器的设定值,此设定值与蒸发温度的差值作为副 PID 控制器的输入,调节主电子膨胀阀的开度满足其过热度要求。这种 PID 串级控制的热湿分控方法将温度和湿度独立控制,将通过试验测试此控制方法的控制效果。

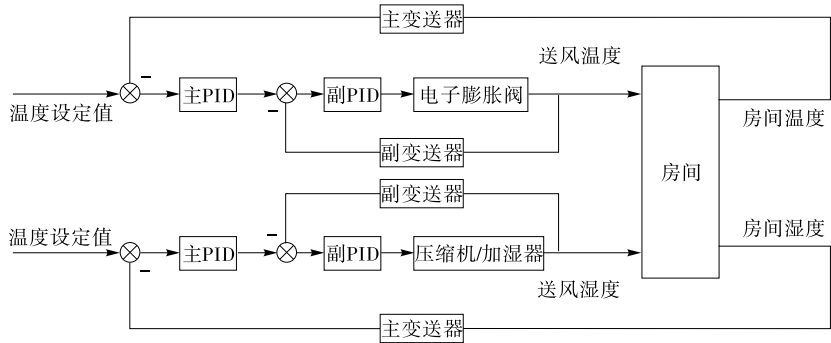


图 2 控制系统原理框图
Figure 2 Control system schematic diagram

2 试验设计

本试验在焓差实验室进行,焓差实验室平面图见图 3。室内机采用模拟负荷发生器提供室内热湿负荷扰动;室外机利用焓差室空调系统对室内外温湿度环境进行控制,通过空气采样器采集检测室内外环境温湿度。实验设备为:恒温恒湿空调机组 1 台,其额定制冷量为 4.0 kW,室内机风量为 500 m³/h;控制器采用单片机,由 C 语言编写控制逻辑,在单片机上运行;模拟负荷发生器 1 台,加热功率 4.5 kW,加湿功率 0.6 kW,供电电源 AC 380 V/50 Hz/3Ph;以 PC 机为上位机,使用 NI 公司的 LabVIEW 编写的采集程序进行实验数据采集。

采集的主要数据有压缩机吸气温度、压缩机排气温度、蒸发温度、冷凝温度、冷凝器外环温度、室内温度、室内湿度、送风温度以及湿度。其中压缩机吸排气温度探头分别布置

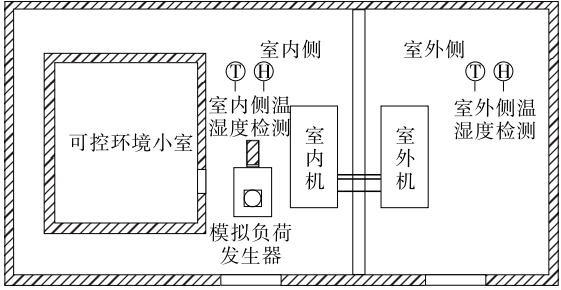


图 3 焓差实验室平面图
Figure 3 Enthalpy difference lab planar graph

在压缩机进出口管道上,冷凝温度探头布置在冷凝器中部铜管上,外环温度探头布置在冷凝器进风侧,数据的采集采用铂电阻温度探头。送风温湿度由温湿度传感器 EE66 测定,测点布置在送风口处。

3 试验结果与分析

根据葡萄酒储藏室环境的特点,以葡萄酒最佳储藏温度 12℃和湿度 65%为目标工况^[8]进行温湿度控制试验,包括机组送风温湿度分控试验和房间温湿度控制精度及稳定性试验,测试 PID 串级控制的热湿分控方法对室内温湿度的控制效果,验证机组能否满足小型葡萄酒储藏室温湿度准确控制的要求。由于外界环境的变化,会导致室内热湿负荷的改变,试验中使用模拟负荷发生器提供室内热负荷和湿负荷的扰动变化,通过机组对环境温湿度的调节处理使其环境温湿

度达到最终的目标工况,进而研究机组的运行特性。

3.1 机组送风温湿度分控试验分析

首先进行机组性能测试试验,通过测定机组的进风和送风温湿度,进而反映机组对温湿度的分别调节控制能力^[9-10]。试验过程中控制室内温湿度,设定送风温湿度,开启机组运行 6~10 min 后,送风温湿度基本稳定,而对于室内由于焓差实验室空调的作用,其室内温湿度在每组试验进行时间内波动很小,故温湿度波动可以忽略不计。试验结果见表 1。

表 1 温湿度设定及试验结果

Table 1 Temperature and humidity set value and experimental results

工况	室内温湿度		送风设定值		送风实测值	
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%
1	22.7	75.0	12.0	55.0	12.0	56.2
2	22.7	75.0	10.0	55.0	10.1	54.8
3	22.7	75.0	8.0	55.0	7.8	56.0
4	22.7	75.0	10.0	65.0	10.0	64.8
5	22.7	75.0	12.0	65.0	11.9	63.8
6	22.7	75.0	8.0	65.0	8.1	65.3
7	22.7	75.0	12.0	75.0	12.1	75.9
8	22.7	75.0	8.0	75.0	7.9	74.3
9	22.7	75.0	10.0	75.0	10.1	76.1
10	25.8	65.0	10.0	75.0	10.1	76.5
11	25.8	65.0	10.0	65.0	10.1	65.8
12	25.8	65.0	12.0	65.0	12.0	65.1
13	25.8	65.0	12.0	55.0	12.2	53.9
14	21.6	75.0	8.0	65.0	8.2	65.6
15	26.4	70.0	12.0	55.0	11.8	56.2
16	23.5	45.0	12.0	65.0	11.9	65.8
17	22.3	55.0	8.0	65.0	7.8	64.1

由表 1 可知,工况 1、5、7、12、13、16 在送风设定温度均为 12℃的情况下,机组运行稳定后,送风实测温度分别控制在 12.0、11.9、12.1、12.0、12.2、11.9℃,同时送风实测相对湿度分别控制在 56.2%、63.8%、75.9%、65.1%、53.9%、65.8%。对比分析发现,机组在送风温度设定相同的情况下,可以实现对相对湿度很好的控制调节。与此同时,表 1 中工况 4、5、6、11、12、14、17 在设定相对湿度 65%的情况下,机组运行稳定后,送风实测相对湿度分别控制在 64.8%、63.8%、65.3%、65.8%、65.1%、65.6%、64.1%,同时送风实测温度分别控制在 10.0、11.9、8.1、10.1、12.0、8.2、7.8℃。对比分析发现,机组在送风相对湿度设定相同的情况下,可以实现对送风温度精确的控制调节。

3.2 房间温湿度控制精度分析

温、湿度控制精度试验,分别在室内温湿度为(28℃,75%)和(20℃,45%)下开启机组对室内空气调节处理,测

试室内温湿度波动情况以及达到设定值(最佳储藏温湿度 12℃,65%)的稳定时间并分析数据。

图 4 和图 5 显示出在室内温度、相对湿度分别在(28℃,75%)和(20℃,45%)室内工况下,机组对空气的温湿度调

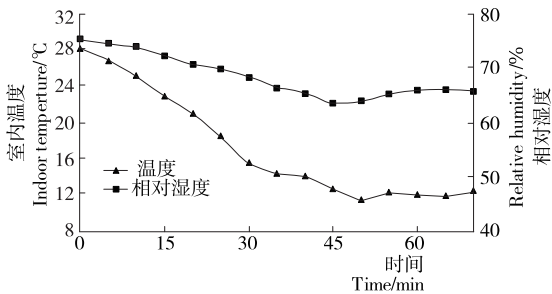


图 4 室内温度、相对湿度随时间变化趋势(28℃,75%)

Figure 4 Indoor temperature, relative humidity variation trend with time

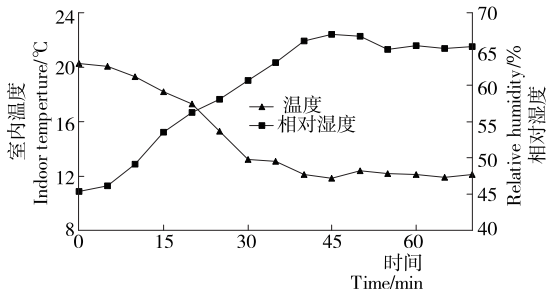


图5 室内温度、相对湿度随时间变化趋势(20℃,45%)

Figure 5 Indoor temperature, relative humidity variation trend with time

节能能力,即室内温湿度随机组开启时间的变化趋势。从机组的温湿度调节性能来看,在机组开启后30 min内室内温湿度变化幅度最大,经过短暂波动后趋于稳定;从机组控制精度来看,机组运行稳定后均可以将室内温度控制在 $(12\pm0.3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制在 $(65\pm2)\%$ 以内。同时对比图4和图5可知,在相对湿度高于设定值时,机组对湿度的调控能力较强,相对湿度波动较小;低于设定值时,机组对湿度的调控能力较低,相对湿度波动较大,可能是加湿器开启时,控制回路的延时作用,使得机组控制效果减弱。

3.3 房间温湿度控制稳定性分析

房间温湿度控制稳定性试验主要测试机组在引入室内热湿负荷扰动情况下,机组的反应能力以及房间温湿度波动情况。试验开始后,先使机组稳定运行在目标工况(12°C , 65%),在某一时刻打开模拟负荷发生器加入扰动热负荷500 W,湿负荷0.4 kg/h,测试机组对室内环境温湿度的调控能力。

图6给出了机组在突然引入热湿负荷扰动后,机组对房间温湿度的控制情况。由图6可知,当热湿负荷增加时,在2~4 min内室内温度急剧增高,相对湿度急剧下降,此时加湿器打开,经过6~8 min左右温湿度趋于稳定,温度控制在 $(12\pm0.3)^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制在 $(65\pm2)\%$ 。图6中在负荷增加过程中,温度呈上升趋势,湿度呈下降趋势,二者趋势相反,可能是模拟负荷发生器的加热功率大于加湿功率,同时温度上升对相对湿度也会产生影响。在引入扰动后,由于室内相对湿度低,加湿器打开对室内进行加湿,经过机组数分钟

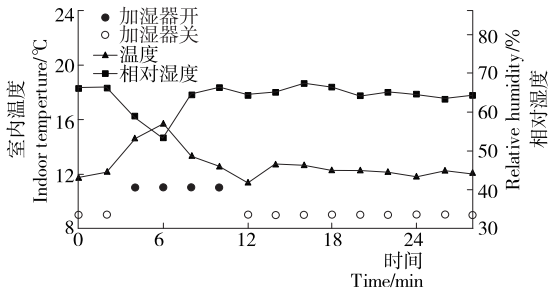


图6 引入扰动室内温度、相对湿度随时间变化趋势

Figure 6 Indoor temperature, relative humidity variation trend with time by additive disturbances

的运行调节,室内温湿度达到设定值,室内温湿度趋于稳定,加湿器在此后的大部分时间处于关闭状态。

4 结论

随着经济技术的发展,恒温恒湿控制技术得到极大发展。本研究根据小型葡萄酒储藏室环境要求的特点,采用PID串级控制的热湿分控方法,可以实现对室内温湿度分别控制的策略,机组运行稳定后送风温度精度可达到 $\pm0.2^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制精度可以达到 $\pm2\%$ 。对于房间温湿度控制系统,该机组对房间温度控制精度能达到 $\pm0.2^{\circ}\text{C}$,相对湿度控制精度能达到 $\pm3\%$,可以满足小型葡萄酒储藏室的温湿度控制要求。同时再热冷凝技术在普通恒温恒湿机组中应用较少,在国家提倡节能减排的背景下,这项技术值得深入研究并加以开发。

参考文献

[1] 王丽君,卢博友,董伟,等. 基于CAN总线的酒窖温湿度监控系统[J]. 农机化研究, 2009, 31(2): 172-174.

[2] 孙昌波,蒲彪. 我国葡萄酒市场的现状与发展[J]. 食品与机械, 2002(2): 39-40.

[3] 张冬信,王伟,何明星,等. 地下酒窖恒温恒湿空调系统研究[C]//全国冶金自动化信息网2014年年会论文集. 北京[出版者不详], 2014: 494-497.

[4] 邱育群,欧阳惕,刘文彬. 高精度恒温恒湿空调最佳控制方法研究[J]. 制冷与空调, 2014(10): 38-40.

[5] 曹琳,江辉民,孙平,等. 变频技术在高精度恒温恒湿空调机中应用的实验研究[J]. 暖通空调, 2009, 39(7): 90-94.

[6] Thu K, Kim Y D, Myat A, et al. Performance investigation of advanced adsorption desalination cycle with condenser - evaporator heat recovery scheme[J]. Desalination and Water Treatment, 2013, 51(1/2/3): 150-163.

[7] 吴丽娟. DMC-PID串级控制算法[J]. 鞍山钢铁学院学报, 2000, 23(2): 120-122.

[8] 王晓萍. 葡萄酒酿造与储藏方法[J]. 吉林农业, 2011(7): 74.

[9] 韩星,张旭,刘金涛,等. 户式热湿分控空调机组的设计与性能实验研究[J]. 制冷学报, 2011, 32(2): 1-8.

[10] 刘畅,张旭,周翔,等. 双蒸发器户式热湿分控机组变工况运行实验研究[J]. 太阳能学报, 2012, 33(2): 302-307.